

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02797

研究課題名(和文) 水晶を凌駕する新規圧電材料・デバイスの開発

研究課題名(英文) Development of new piezoelectric crystals and devices beyond quartz

研究代表者

武田 博明 (Takeda, Hiroaki)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：00324971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は水晶では対応できない1000 MPaまで使用可能な新規圧電結晶を創製し、その各種圧電センサを開発することを目的とした。燃焼圧センサとして一部実用化されているランガサイト型結晶、本研究者が見いだしたメリライト型結晶に注目し、両結晶が抱えている課題の解決を試みた。ランガサイト型結晶では異常燃焼時による結晶の破壊を防ぐため、熱応力の異方性を抑えた新規結晶を開発した。メリライト型結晶では結晶構造と圧電特性の関係の解明することで、低い機械的強度を克服できる新規結晶を開発した。後者のメリライト型結晶は水晶を凌駕する新しい高温用圧電材料となりえることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高温用圧電材料として期待されるランガサイト型結晶およびメリライト型結晶について、両結晶がデバイス汎用化を考えた際に抱える課題を克服した。本成果により、メインターゲットである車載用燃焼圧センサへの応用化に近づいたといえる。特にメリライト型結晶は製造コスト・原料調達リスクを低減でき、そのデバイスは自動車・船舶等の内燃機関の燃費向上と二酸化炭素削減に寄与できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we found a possible method to reduce the anisotropy of the thermal stress generated on langasite-type $\text{La}_3\text{Ta}_0.5\text{Ga}_5.5\text{O}_{14}$ (LTG) piezoelectric crystals arising from the mismatch of the thermal expansion coefficients and Young's moduli of the crystals and metals at high temperatures. We attempted to replace La^{3+} in LTG by a larger ion and considered Sr^{2+} . Single crystals of strontium-substituted LTG (Sr-LTG) were grown using the Czochralski method. The anisotropic thermal stress was reduced effectively.

We also clarified a relationship between piezoelectric property and crystal structure in melilite-type crystals. Based on this knowledge, strontium-substituted calcium magnesium silicate $\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$ (Sr-CMS) single crystals have been grown. The Sr-CMS crystal has piezoelectric d_{31} constant 2.1 pC/N and its compressive strength 830 MPa.

Both the Sr-LTG and the CMS30 single crystal is a superior candidate material for pressure sensors at high operating temperatures.

研究分野：無機工業材料，無機材料・物性，結晶工学

キーワード：圧電結晶 高温応用 結晶育成 燃焼圧センサ 機械的強度

1. 研究開始当初の背景

現在、高耐熱性を有する超音波センサ（使用環境の最高温度 800°C）、マイクロバランス（同 900°C）、圧力センサ（同 700°C）が渴望されており、これらは地熱・火力発電所の構造部材の常時監視、燃焼炉のガスモニタ、内燃機関の燃焼圧モニタリングによる精密燃焼制御に繋がり、安全で安定な電力供給や環境への低負荷に重要な因子となる。これらすべての圧電センサを網羅するには、水晶では対応できない 1000°C まで動作可能で高感度（高い圧電定数）という条件をクリアし、水晶がもつ①高い化学安定性・②温度安定な圧電特性・③高い電気抵抗率・④大型結晶化が容易・⑤高い圧縮強度（300 MPa@水晶）という 5 つの条件をすべて満たす圧電結晶が必須となる。これまで数多く報告されている高温圧電センサ候補材料で 5 つの条件のうち 4 つを満たす結晶が 3 つあり、それらは 2 種類のランガサイト系結晶とメリライト型結晶である。これらの結晶がもつ短所を克服するための研究が多くなされているものの、材料本来の特性のため解決できておらず、現在も課題として残されたままである。

2. 研究の目的

本研究では 2 種類のランガサイト系結晶のうち最有力候補であるディスオーダー型結晶であるランガタイト ($\text{La}_3\text{Ta}_{0.5}\text{Ga}_{5.5}\text{O}_{14}$: LTG)、メリライト型結晶であるオケルマナイト ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$: CMS) に注目した。前者は燃焼圧センサとして一部実用化されている結晶であり、後者は 2013 年に本研究が見いだしたゲーレンナイトから派生した新しい高温圧電候補材料である。本研究は、燃焼圧センサ材料である LTG 結晶が抱えている課題、および CMS 結晶が高温圧電材料の最有力候補となるために克服すべき課題、それぞれを解決することを目的としている。特に、後者の CMS 結晶は短所を克服することで、水晶を凌駕する新しい高温用圧電材料となりえる可能性を秘めている。

3. 研究の方法

(1) LTG 結晶の熱物性制御を可能とする置換元素の探索

近年、LTG 結晶を用いた燃焼圧センサが実装されたエンジンが登場している。LTG 結晶がもつ圧電 d_{11} 定数を最大限利用するには、センサ素子は X カット ((210)面) 基板を用い、その両面が金属板に挟まれた構造がベースとなる。ここで、結晶と金属との熱膨張率の差から熱応力が発生し、その熱応力は X カット面内にある c 軸方向と $\perp c$ 方向で異なる。この状態で異常燃焼により生じる撃力が加わると結晶が破壊されることが懸念される。この熱応力の異方性を低減するため、材料の観点から LTG に対して元素置換を行う必要がある。ランガサイト型結晶は組成式 $A_3BC_3D_2O_{14}$ で表され、4 つの異なる陽イオンサイトをもつ。A、B、C サイトがそれぞれ異なる元素からなる 4 成分系ランガサイト型結晶を用い、これらの熱応力と置換サイトおよび陽イオン元素の関係を見出すことで、LTG に対して置換するサイトと元素を決定する。熱応力は弾性定数と熱膨張率から計算した。また、熱膨張率は粉末 XRD 回折から求めた格子定数の温度変化より求めた。熱応力の計算においては、燃焼圧センサに用いる結晶を挟んでいる金属の素材は公開されていないため、本研究ではエンジンの素材としてよく用いられている鋳鉄を仮定して計算を行った。置換元素の候補を決定した後、引き続き単結晶育成を試みた。

(2) 元素置換 LTG 結晶の合成と評価

(1) で置換元素の候補を決定した後、レーザー熔融 (LHPG) 法を用いて単結晶化できる置換量を探索した。決定した組成の元素置換 LTG のバルク結晶を Czochralski (Cz) 法で作製し、材料定数と熱膨張率を求め、熱応力を算出し、LTG の熱応力と比較を行った。

(3) メリライト型結晶の結晶構造と圧電特性の関係の解明

メリライト型結晶は正方晶系で点群 $\bar{4}2m$ に属し、焦電性を示さない圧電結晶である。構造式は $A_2BC_2O_7$ と表され、結晶学的に区別される陽イオン席が 3 種類存在する。A 席は酸素 6 配位の陽イオンサイトであり、主にイオン半径の大きい Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Sr^{2+} 、希土類元素等がこの陽イオンサイトを占める。B、C サイトは共に酸素 4 配位の四面体席であり、B サイトの方が C サイトの方より大きい。B サイトには Ga^{3+} 、 Al^{3+} 、 Be^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Zn^{2+} 等、C サイトには Al^{3+} 、 Ga^{3+} 、 Si^{4+} が入る。結晶構造の特徴として B サイトと C サイトの二つの四面体で構成される層が結晶軸の c 軸に沿って積み重なり、層と層との間の A サイトに存在する陽イオンが結合の役割を担っている。面内方向の強い共有結合性に比べ A サイトの陽イオンと酸素でつくられる結合の方が弱い。そのため、 c 軸に垂直な {001} 面が劈開面となり、その面に沿って割れやすい。この特徴により、特定の方位で圧縮強度が低い。メリライト型結晶は二つの圧電定数 d_{14} 、 d_{36} をもつ。それぞれ $(XYi)\theta$ 基板および $(ZXi)\theta$ 基板をもちいることで、垂直応力に対する分極が生じる見かけの圧電定数 d'_{31} を得ることができる。圧力センサで検出対象とするのは一般に垂直応力である。これまで圧電特性が報告されているメリライト型結晶の d_{36} 値を調査したところ、オケルマナイト ($\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$: 以降、CMS) で d_{36} が 4 pC/N 以上を示すことがわかった。ただし、CMS 結晶は 85 °C 付近で相転移が生じるため、やはりセンサ材料として不適である。そこで、メリライト型結晶における結晶構造と圧電特性の関係を見だし、CMS をベースとした新規材料を探索することとした。

(4) 新規メリライト型結晶の合成

(3) で提案された新規材料候補を決定した後、LHPG 法を用いて単結晶化できる組成を探索した。決定した組成のバルク結晶を Cz 法で作製した。育成結晶から電気的特性用基板を作製し、電極を形成後、圧電特性ならびにその温度依存性について調査した。さらに、直方体の試料を作製し、圧縮強さ試験を行った。

4. 研究成果

(1) LTG 結晶の熱物性制御を可能とする置換元素の探索

算出した各結晶の熱応力を図 1 に示す。LTG の熱応力は $\perp c$ 方向に 102 MPa、 c 軸方向に 194 MPa と 2 倍程度異なり、異方性が大きいことがわかる。この異方性を低減させるためには、 c 軸と $\perp c$ 方向の熱応力の差を減少させる必要がある。CTGS と BTGS との比較から A サイトを Ca から Ba のようにイオン半径を増加させることで $\perp c$ 方向の熱応力のみを増加させることができると考えた。以上より、置換サイトとして A サイト、置換元素として La よりイオン半径の大きい Ba、Sr が候補に挙げられた。

(2) 元素置換 LTG 結晶の合成と評価

La と Sr ではイオンの価数が異なるため、置換量を変える際に B サイトの Ta と Ga の組成比を調整することで電気的中性条件を満たした。レーザー溶融法の結果より Sr 置換量が 0.2 以下で単結晶できることがわかり、引き続き、Cz 法にて $\text{La}_{2.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ta}_{0.55}\text{Ga}_{5.45}\text{O}_{14}$ (LSTG)の単結晶作製を試みた(図 2)。作製した結晶は上部が透明で下部は不透明であった。SEM 観察ならびに EPMA 分析の結果、不透明部分は気泡であることがわかった。透明部分から基板を作製して弾性定数と熱膨張率を測定し、熱応力の計算を行ったところ $\perp c$ 方向は 112 MPa、 c 軸方向は 162 MPa という結果になった。熱応力の異方性を c 軸方向/ $\perp c$ 方向の比で表すと、LTG は 1.90 となり、LSTG で 1.45 となる。Sr を置換することで LTG の熱応力の異方性を低減できることがわかった。

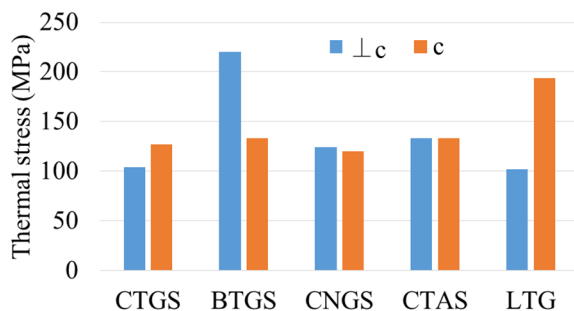


図 1 4 成分系ランガサイト型結晶 $\text{Ca}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (CTGS), $\text{Ba}_3\text{TaGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (BTGS), $\text{Ca}_3\text{NbGa}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (CNGS), $\text{Ca}_3\text{TaAl}_3\text{Si}_2\text{O}_{14}$ (CTAS) と LTG 結晶の c 軸と $\perp c$ 方向の熱応力。

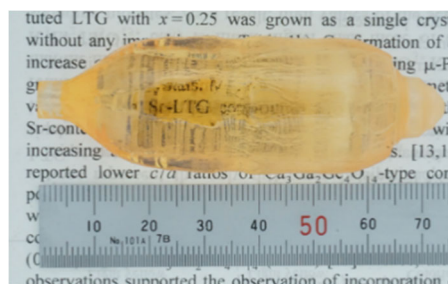


図 2 Cz 法にて育成した Sr 置換 LTG 結晶 (組成: $\text{La}_{2.9}\text{Sr}_{0.1}\text{Ta}_{0.55}\text{Ga}_{5.45}\text{O}_{14}$)

(3) メリライト型結晶の結晶構造と圧電特性の関係の解明

本研究者はゲーレンナイトの Ca を Sr に一部置換することで、圧電定数 d_{14} が減少すること報告している。また、結晶構造解析の結果、CAS 結晶の 8 配位 A サイト (Ca サイト) の配位多面体の歪 Δ (以降、多面体歪み) が Sr 置換により小さくなること見いだしている。A サイトの多面体歪みは Shannon の報告にある多面体歪み Δ をもちいて評価することができる。図 3 にメリライト型結晶の結晶構造から計算された A サイトの多面体歪 Δ と圧電定数 d_{14} , d_{36} との関係を示す。 Δ が増加すると、 d_{14} は増加し、 d_{36} は減少することがわかる。これらの原因については第一原理計算をもちいて検討中であるものの、この図は新たな材料探索に指針を与えた。本研究は前述のように、 d_{36} に焦点を当てており、高い d_{36} 値をもつ CMS 結晶に着目して、その Ca を Sr 置換することとした。以降、この結晶を CSMS100x と略し、x は Ca サイトに対する Sr 置換量を表す。

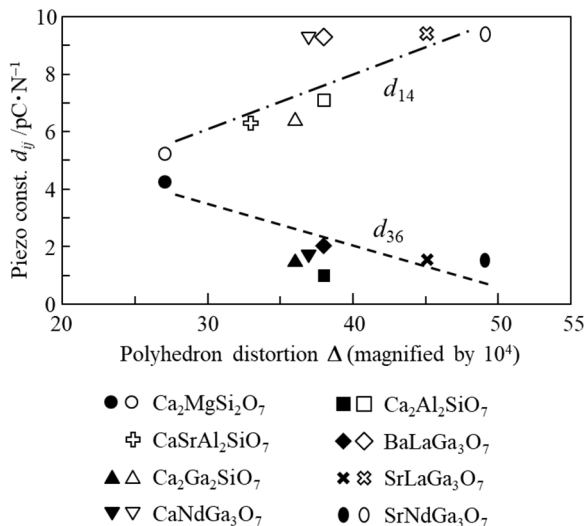


図 3 メリライト型結晶の A サイトの多面体歪み Δ と圧電定数の関係

(4) 新規メリライト型結晶の合成

CSMS100x で表されるすべての組成で無色透明の結晶が得られ、かつ、粉末 XRD 回折で調べた結果、不純物相を含まないメリライト型結晶の単相であった。図4は、冷却過程における CMS 結晶および Sr 置換 CMS 結晶の DSC プロファイルを示す。CMS と CSMS05 ではそれぞれ 82 °C と 57 °C で明瞭な発熱ピークを示し、CSMS10 では 24 °C 付近に鈍いピークを有している。一方、CSMS30 の場合に明瞭なピークは観測されない。これらの温度は報告されている整合-不整合相転移の温度と一致した。これは、CSMS30 結晶が、温度変化に対して圧電定数が変化しないことを意味し、これはセンサ応用にとって有利である。

これらの結果に基づき、Cz 法により CSMS10 と CSMS30 単結晶を成長させた (図5)。得られた結晶は直径 18~20mm、長さ 40~70mm であり、透明で、結晶表面は滑らかであった。ただし、結晶内部にはバルク欠陥である空隙や“す”を伴っており、これらの除去には結晶育成条件のさらなる検討が必要である。

CSMS30 結晶の室温における圧電定数の d'_{31} は 2.11 pC/N であり、水晶の d_{11} と同等で圧力センサ材料として十分である。CMS および Sr 置換 CMS 結晶の(ZX)45°基板での圧電定数 d'_{31} の温度依存性を調査した結果、CMS 結晶と CSMS10 結晶は共に d'_{31} 値が相転移付近で減少し、相転移温度以上では増加することがわかった。一方、CSMS30 結晶の d'_{31} 値は温度と共にわずかに増加するに留まった。図6に CSMS30 結晶の d'_{31} の温度依存性と他の高温圧電結晶との比較を示す。この図では各結晶の温度依存性を比較できるように相対圧電定数 d^*_{ij} をもちいた。高温圧電材料候補の一つである希土類カルシウムオキソボレート結晶 $YCa_4O(BO_3)_3$ (YCOB) は大きな変化を示す。一方、CSMS30 結晶は 300 ppm/°C の温度変化であり、これは現在、高温圧電センサの最有力候補でランガサイト型結晶である $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}O_{14}$ および $La_3Ta_{0.5}Ga_5Al_{0.5}O_{14}$ と同等である。

図7に CSMS30 結晶の(ZX)45°基板における応力-ひずみ曲線を示す。CSMS30 結晶の圧縮強度は 830 MPa を示し、Sr 置換 CAS 結晶の(XY)45°基板の 170 MPa の 5 倍である。このように CSMS30 結晶の(ZX)45°基板の圧縮強度は十分に高く実用的であり、圧電定数も圧力センサ用として十分である。最有力候補である $La_3Ta_{0.5}Ga_{5.5}O_{14}$ 結晶と比較して、CSMS30 結晶は、高価でレアメタルを含まない元素 (Ca, Mg, Sr, Si) から構成される。よって、CSMS30 結晶は様々な高温圧電デバイスへの応用に有効であると考えている。

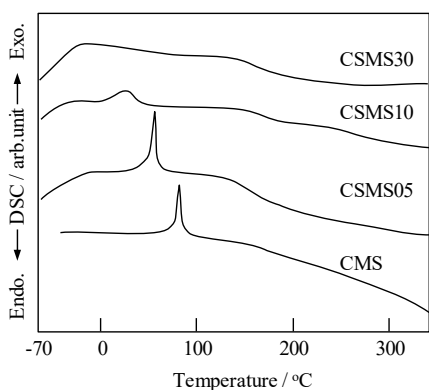


図4 $Ca_{2-x}Sr_xMg_2SiO_7$ (CSMS100x) 結晶の DSC プロファイル (冷却過程)

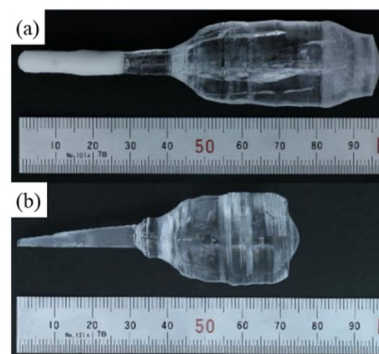


図5 Cz 法作製 $Ca_{2-x}Sr_xMg_2SiO_7$ 結晶 (a) $x=0.1$ (CSMS10), (b) $x=0.3$ (CSMS30)

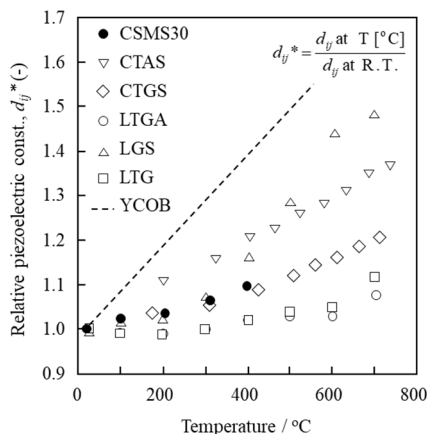


図6 $Ca_{2-x}Sr_xMg_2SiO_7$ ($x=0.3$) (CSMS30) 結晶と各種高温用圧電結晶の圧電 d 定数の温度変化

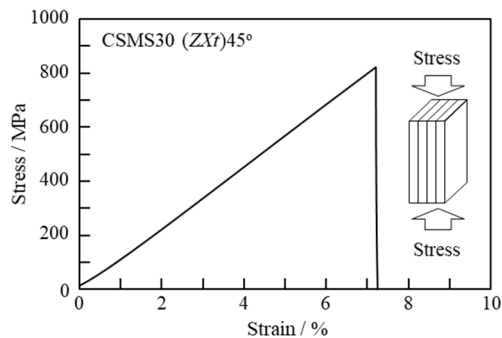


図7 $Ca_{2-x}Sr_xMg_2SiO_7$ ($x=0.3$) (CSMS30) 結晶の応力-ひずみ曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Hiroaki Takeda, Yudai Sobata, Haruki Usui, Shohei Kodama, Ikuo Yanase, Takuya Hoshina, Takaaki Tsurumi, Kiyoshi Shimamura	4. 巻 130
2. 論文標題 Growth and characterization of strontium-substituted La3Ta0.5Ga5.5O14 single crystals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 16-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.21116	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 武田博明	4. 巻 29
2. 論文標題 メリライト型圧電結晶の合成と評価	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 無機マテリアル学会誌	6. 最初と最後の頁 117-121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shinobu Aoyagi, Ayumi Aoyagi, Hiroaki Takeda, Hitoshi Osawa, Kazushi Sumitani, Yasuhiko Imai, and Shigeru Kimura	4. 巻 105
2. 論文標題 Position and electric field dependent local lattice strain detected by nanobeam x-ray diffraction on a relaxor ferroelectric single crystal	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 24101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.105.024101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 青柳忍, 武田博明	4. 巻 28
2. 論文標題 圧電性無機材料の交流電場下での過渡原子変位計測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 無機マテリアル学会誌	6. 最初と最後の頁 456-462
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shinobu Aoyagi, Ayumi Aoyagi, Hiroaki Takeda, Hitoshi Osawa, Kazushi Sumitani, Yasuhiko Imai, and Shigeru Kimura	4. 巻 11
2. 論文標題 Time Resolved Nanobeam X-ray Diffraction of a Relaxor Ferroelectric Single Crystal under an Alternating Electric Field	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11111419	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 M. A. Zubair, F. A. Mozahid, H. Takeda, A. K. M. A. Hossain	4. 巻 274
2. 論文標題 Effect of processing temperature on structural, optical and frequency dependent electrical responses of solid-state sintered bismuth sodium titanate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Science & Engineering B	6. 最初と最後の頁 115474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.mseb.2021.115474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikuo Yanase, Naoki Kuwada, Kouki Kuribara, Shohei Kodama, Hiroaki Takeda	4. 巻 134
2. 論文標題 Na-ion conductivity of -NaFeO_2 synthesized from an EDTA chelate complex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry Communications	6. 最初と最後の頁 108394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.inoche.2021.108913	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanase Ikuo, Hayashizaki Kouhei, Kakiage Masaki, Takeda Hiroaki	4. 巻 125
2. 論文標題 Novel application of Tb-substituted layered double hydroxides to capturing and photoluminescence detecting CO ₂ gas at ambient temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry Communications	6. 最初と最後の頁 108394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.inoche.2020.108394	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Usui Haruki, Tokuda Makoto, Sugiyama Kazumasa, Hoshina Takuya, Tsurumi Takaaki, Lebbou Kheirreddine, Yanase Ikuo, Takeda Hiroaki	4. 巻 10
2. 論文標題 Control of Thermophysical Properties of Langasite-Type La ₃ Ta _{0.5} Ga _{5.5} O ₁₄ Crystals for Pressure Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst10100936	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 YAMADA Takahiro, TAKEDA Hiroaki, TSURUMI Takaaki, HOSHINA Takuya	4. 巻 128
2. 論文標題 Possibility of ferroelectric bismuth and nitrogen co-doped barium titanate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 486 ~ 491
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 MINEGISHI Shuya, HOSHINA Takuya, TSURUMI Takaaki, LEBBOU Kheirreddine, TAKEDA Hiroaki	4. 巻 128
2. 論文標題 Crystal growth and characterization of Li _x La _(1-x) /3NbO ₃ using Czochralski method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 481 ~ 485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20026	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 USUI Haruki, KUSAKABE Hiraku, TOKUDA Makoto, SUGIYAMA Kazumasa, HOSHINA Takuya, TSURUMI Takaaki, TAKEDA Hiroaki	4. 巻 128
2. 論文標題 Structure and electrical properties of Ba ₃ TaGa ₃ Si ₂ O ₁₄ single crystals grown by Czochralski method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 441 ~ 446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.20016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 TAKEDA Hiroaki, KUSAKABE Hiraku, USUI Haruki, HOSHINA Takuya, TSURUMI Takaaki, LEBBOU Kheirreddine	4. 巻 128
2. 論文標題 Strontium-substituted calcium magnesium silicate single crystals for high-temperature piezoelectric applications	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 130 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Liao YuHsun, Takezawa Shuhei, Takeda Hiroaki, Tsurumi Takaaki, Hoshina Takuya	4. 巻 58
2. 論文標題 Terahertz dielectric response of nano-grained barium titanate ceramics measured by far-infrared spectroscopic ellipsometry	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SLLA07
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab38d2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 NISHIYAMA Junji, KANEHARA Kazuki, TAKEDA Hiroaki, TSURUMI Takaaki, HOSHINA Takuya	4. 巻 127
2. 論文標題 Doping effect of Nb on ionic polarization of SrTiO ₃	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 357 ~ 361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 武田博明
2. 発表標題 高温デバイスを指向した非鉛電子材料の創製
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金久保慧伍、栗原光輝、武田博明、柳瀬郁夫
2. 発表標題 Na ₃ Zr ₂ Si ₂ P ₀ 1 ₂ のNaイオン伝導性に及ぼすY 置換効果
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki、SOBATA Yudai、USUI Haruki、TOKUDA Makoto、SUGIYAMA Kazumasa、HOSHINA Takuya、TSURUMI Takaaki、YANASE Ikuo、LEBBOU Kheirredine
2. 発表標題 Effect of element substitution on thermophysical properties of langasite-type crystals
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 武田博明、臼井晴紀、柳瀬郁夫、保科拓也、鶴見敬章、徳田誠、杉山和正
2. 発表標題 ランガサイト型結晶Ba ₃ TaGa ₃ Si ₂ O ₁₄ の育成と高温圧電特性
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 保科拓也、大沼美穂、菅幸生、安原颯、武田 博明、鶴見敬章
2. 発表標題 K(Ta,Nb)Si ₂ O ₇ 単結晶の作製と強誘電特性の評価
3. 学会等名 第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田博明、白井晴紀、徳田誠、杉山和正、保科拓也、鶴見敬章、柳瀬郁夫、LEBBOU Kheirreddine
2. 発表標題 ランカサイト型結晶の熱物性制御における元素置換効果
3. 学会等名 第40回電子材料研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田博明、白井晴紀、徳田誠、杉山和正、保科拓也、鶴見敬章、LEBBOU Kheirreddine
2. 発表標題 元素置換によるランカサイト型結晶の熱物性制御
3. 学会等名 第37回強誘電体応用会議
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白井晴紀、徳田誠、保科拓也、鶴見敬章、杉山和正、Kheirreddine LEBBOU、武田博明
2. 発表標題 ランカサイト型結晶の元素置換による熱物性制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田博明、大島拓人、保科拓也、鶴見敬章
2. 発表標題 ゲーレンナイト単結晶の高温マイクロバランス応用への可能性検討
3. 学会等名 第58回セラミックス基礎科学討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峯岸秀也、保科拓也、鶴見敬章、武田博明
2. 発表標題 リチウム置換ニオブ酸ランタン単結晶の育成とイオン伝導性
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日下部展、白井晴紀、保科拓也、鶴見敬章、武田博明
2. 発表標題 Sr置換オケルマナイト単結晶の育成と電氣的・機械的特性評価
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 森茂生、平野迅郷、武田博明
2. 発表標題 Eu ²⁺ 添加したSr _{1-x} Ca _x Al ₂ O ₄ の発光特性と微細構造
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田隆寛、西山準二、武田博明、鶴見敬章、保科拓也
2. 発表標題 ビスマスと窒素を共添加したチタン酸バリウムの作製
3. 学会等名 第39回電子材料研究討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田博明、白井晴紀、保科拓也、鶴見敬章、杉山和正、徳田誠
2. 発表標題 四成分系ランガサイト型結晶の構造と物性
3. 学会等名 日本結晶学会令和元年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki, KUSAKABE Hiraku, USUI Haruki, HOSHINA Takuya, TSURUMI Takaaki, LEBBOU Kheirreddine
2. 発表標題 Growth and Characterization of Strontium-substituted Akermanite Single Crystals for High-Temperature Applications
3. 学会等名 19th US Japan Seminar on Dielectric and Piezoelectric Ceramics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 MORI Shigeo, TSUKASAKI Hirofumi, HIRANO Hayato, KAWAGUCHI Shogo, ISHII Yui, TAKEDA Hiroaki
2. 発表標題 Microstructures and their relevance to photoluminescence in Eu ²⁺ -doped Sr _{1-x} Ca _x Al ₂ O ₄
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki, KUSAKABE Hiraku, USUI Haruki, OHSIMA Takuto, HOSHINA Takuya, LEBBOU Kheirreddine, TSURUMI Takaaki
2. 発表標題 Potential of Melilite-type Piezoelectric Crystals for High-Temperature Applications
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TSURUMI Takaaki、TAKEDA Hiroaki、HOSHINA Takuya
2. 発表標題 Development of Dielectric Materials for Heat Resistant Capacitor
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki、USUI Haruki、HOSHINA Takuya、TSURUMI Takaaki
2. 発表標題 Structure and Piezoelectric Property of Ba ₃ TaGa ₃ Si ₂ O ₁₄ Single Crystals Grown by Czochralski Method
3. 学会等名 The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki
2. 発表標題 Recent progress in piezoelectric single crystals for high temperature applications
3. 学会等名 The 11th China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 峯岸秀也、保科拓也、鶴見敬章、武田博明
2. 発表標題 リチウム置換ニオブ酸ランタン単結晶の育成と評価
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 日下部展、白井晴紀、保科拓也、鶴見敬章、武田博明
2. 発表標題 オケルマナイト系圧電単結晶の育成と評価
3. 学会等名 第35回日本セラミックス協会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 TAKEDA Hiroaki
2. 発表標題 DEVELOPMENT OF MELILITE-TYPE SINGLE CRYSTALS FOR HIGH TEMPERATURE PIEZOELECTRIC SENSOR
3. 学会等名 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田博明、大島拓人、保科拓也、鶴見敬章
2. 発表標題 ゲーレンナイト単結晶の厚みすべり振動特性
3. 学会等名 第36回強誘電体応用会議
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	柳瀬 郁夫 (Yanase Ikuo) (10334153)	埼玉大学・理工学研究科・准教授 (12401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	青柳 忍 (Aoyagi Shinobu) (40360838)	名古屋市立大学・大学院理学研究科・教授 (23903)	
研究分担者	西田 貴司 (Nishida Takashi) (80314540)	福岡大学・工学部・教授 (37111)	
研究分担者	小玉 翔平 (Kodama Shohei) (30910096)	埼玉大学・理工学研究科・助教 (12401)	
研究分担者	鶴見 敬章 (Tsurumi Takaaki) (70188647)	東京工業大学・物質理工学院・教授 (12608)	
研究分担者	保科 拓也 (Hoshina Takuya) (80509399)	東京工業大学・物質理工学院・准教授 (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関